

Er hat aber auch bereits eine Akkretions-scheibe. Die Wissenschaftler untersuchten den Jet anhand der Emission des Silizium-oxid-Moleküls (SiO) mit ALMA, dem Atacama Large Millimeter/submillimeter Array in Chile, bei Submillimeter-Wellenlängen. Mit einer Auflösung von bis zu 0,02 Bogen-sekunden, das sind acht Astronomische Einheiten (AE) in der Entfernung des Sys-tems, erlauben es die ALMA-Beobachtun-gen, hochaufgelöste Karten des Jets in un-mittelbarer Nähe zur Scheibe zu erstellen (siehe Bild S. 19 oben links).

Der Jet zeigt keine homogene Dichte-struktur auf Skalen von 1000 AE und ist zu-dem nicht symmetrisch. Dank der hohen Auflösung sieht man nun zum ersten Mal Gasklumpen innerhalb von rund 100 AE der Scheibe, zum Teil sogar radial aufge-löst. Einige der Klumpen weisen leichte Geschwindigkeitsgradienten radial zur Rotationsachse des Jets auf, in Einklang mit dem Rotationssinn der Scheibe (siehe Bild S. 19 oben rechts). Da dieser Teil des Jets vermutlich noch nicht von der weiteren Umgebung beeinflusst worden ist, kann

die Geschwindigkeitsstruktur und Form auf den Entstehungsprozess des Jets hin-weisen.

Aus dem Geschwindigkeitsgradienten des Jets lässt sich der spezifische Drehim-puls ermitteln. Dieser führt unter der An-nahme, dass der Jet durch Scheibenwinde produziert wird, zu dem Schluss, dass ihr Ausgangspunkt rund 0,05 AE vom Proto-sterne entfernt liegt, was gerade mal elf Sonnenradien entspricht.

Diese Ergebnisse sind erneut ein Indiz dafür, dass Winde Drehimpuls aus den in-nersten Regionen der Scheibe abführen und somit Massentransport in diesem Bereich ermöglichen. Hinsichtlich der äußeren Scheibenregionen deuten die Autoren an, dass sie keine Anzeichen für Scheibenwinde sehen.

Drehimpulstransfer durch Jets

Die neuen Resultate liefern Hinweise da-rauf, dass Jets zum Drehmomenttrans-transport in den innersten Bereichen einer protoplanetaren Scheibe beitragen. Die Geschwindigkeitsgradienten lassen sich jedoch nicht in allen Gasklumpen des Jets ausmachen. Deswegen sind weitere Beob-achtungen nötig, um die Rotationssigna-turen in diesem und auch in anderen Jets zu bestätigen und neu aufzuspüren.

In den äußeren Regionen der Scheibe von HH 212 ist die Existenz von Winden nicht geklärt. Weitere Untersuchungen müssen klären, welchen Einfluss Winde auf den Drehimpulstransport in proto-planetaren Scheiben als Ganzes haben. Chin-Fei Lee und sein Team zeigen mit ihrer Arbeit, dass ALMA in dieser Hinsicht wichtige Beiträge zum besseren Verständ-nis von protoplanetaren Scheiben leisten kann.

MICHAEL RUGEL promoviert am Max-Planck-Institut für Astronomie mit dem Forschungs-schwerpunkt Molekülwolkenentstehung in unserer Milchstraße.

ZUM NACHDENKEN

Drehimpuls in protoplanetaren Scheiben



Während eines recht kurzen Sta-diums der Entstehung von Ster-nen ist das junge, noch im Wachsen be-findliche Zentralgestirn mit der Mas-se M von einer Akkretionsscheibe um-ggeben, aus der zwei Jets senkrecht zur Scheibe in entgegengesetzte Richtun-gen entströmen. Die Materie, die der Protostern aufnimmt, stammt aus der Scheibe. Dazu aber muss der Drehim-puls der Scheibenteilchen abgeführt werden – in die Jets.

Aufgabe 1: Im Kurzbericht ab S. 18 steht der Satz: »Bewegt sich das Gas auf Keplerbahnen um den Stern, so ist der Drehimpuls umso größer, je weiter ent-fernt es den Stern umkreist.« Man zeige, dass dies richtig ist. **Hilfe:** In der kreis-förmigen Scheibe stehen die Vektoren des Drehimpulses $\vec{L} = \vec{r} \times \vec{p}$, des Bahn-radius $\vec{r}$ und der Bahngeschwindigkeit $\vec{v}_{\text{rot}}$ senkrecht aufeinander (der Impuls ist $\vec{p} = m \vec{v}_{\text{rot}}$). Dann gilt auch für die Be-träge: $L = r p = r m v_{\text{rot}}$. Die Teilchen in der Scheibe gehorchen aber auch dem dritten keplerschen Gesetz: $r^3 = (P/2\pi)^2 G(m + M) \approx (P/2\pi)^2 G M$. Für ihre Umlaufperiode gilt: $P = 2\pi r/v_{\text{rot}}$.

Aufgabe 2: Teilchen in der Akkretions-scheibe erfahren durch Prozesse wie Reibung und Turbulenz eine resultie-rende, nach innen gerichtete kleine Geschwindigkeit. Auf ihrem Weg nach Innen erreichen sie den Zentrifu-galradius r_z , bei dem Gleichgewicht

herrscht zwischen der nach innen gerichteten Gravitationskraft $F_G = G m M/r^2$ und der Zentrifugalkraft $F_Z = m \omega^2 r$. Die Bahnfrequenz ist $\omega = v_{\text{rot}}/r$. Man bestimme r_z in Abhängigkeit vom spezifischen Drehimpuls $\ell = L/m$. Die gesuchte Gleichung hängt nur von ℓ , G und M ab.

Aufgabe 3: Die Radialgeschwindigkeit der Teilchen lässt sich durch die Gleichung $v_r = (2 G M/r - \ell^2/r^2)^{1/2}$ ange-ben. Ist alle radiale Bewegungsenergie in Rotationsbewegung umgesetzt, also $v_r = 0$, so hat das Teilchen die so genannte Zentrifugalbarriere beim Ra-dius r_{ZB} erreicht. Man bestimme r_{ZB} ; auch diese Gleichung hängt nur von ℓ , $G M$ und M ab.

Aufgabe 4: Die Zentrifugalbarriere im System von HH 212 liegt bei $r_{\text{ZB}} = 44$ AE, und die Masse des Protosterns im Zentrum ist $M = 0,25 M_{\odot}$ ($1 M_{\odot} = 1,989 \cdot 10^{30}$ kg). Man bestimme den spezifischen Drehimpuls ℓ_{HH212} in den bei Astronomen gebräuchlichen Ein-heiten von AE km/s. AXEL M. QUETZ

Ihre Lösungen senden Sie bitte bis zum **9. Februar 2018** an: Redaktion SuW – Zum Nachdenken, Haus der Astronomie, MPIA-Campus, Königstuhl 17, D-69117 Heidel-berg. Fax: 06221 528377. PDF: zum-nach-denken@sterne-und-weltraum.de. Einmal im Jahr werden unter den erfolgreichen Lösern **Preise** verlost: siehe S. 93

Literaturhinweis

Lee, C.-F. et al: A Rotating Protostel-lar Jet Launched from the Innermost Disk of HH 212. In: Nature Astronomy 1, 0152, 2017

W I S Didaktische Materialien:
www.wissenschaft-schulen.de/artikel/1051466